



DIAGNÓSTICO CLIMÁTICO PARA O MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN COM ÊNFASE À DISPONIBILIDADE DE ÁGUA NO SISTEMA SUPERFÍCIE-ATMOSFERA

REBECCA LUNA LUCENA¹
ERCÍLIA TORRES STEINKE²

Resumo: No semiárido brasileiro a inconstância das precipitações é sempre relatada como principal fator responsável pela “seca”, que gera inúmeros problemas sociais, econômicos e ambientais nessa região do Brasil. No entanto, outras variáveis meteorológicas são tão importantes ou até mesmo mais determinantes na gênese da seca que a precipitação, a exemplo da temperatura, da insolação e da evaporação, que agindo mutuamente, favorecem o quadro, por vezes desastroso, de falta de água no Nordeste brasileiro. Diante desta situação, neste trabalho objetivou-se analisar dados de precipitação e evaporação do município de Caicó, bem como aplicar índices de Aridez, com o propósito de se revelar as quantidades de água recebidas e perdidas no Sistema Superfície-Atmosfera neste município, que venham a servir de suporte à gestão das águas.

Palavras chave: precipitação; evaporação; índice de Aridez, semiárido brasileiro; Caicó/Rio Grande do Norte.

Abstract: In the Brazilian Semi-arid region, the lack of consistency in rainfall levels is always mentioned as the main factor responsible for droughts, which in turn generates many social, economic and environmental problems in this region. However, other meteorological variables are as important as, or even more important than precipitation in determining the drought's origin, such as temperature, radiation and evaporation, which, acting together, bring about the sometimes disastrous situation of major droughts in the Brazilian semi-arid region. In this paper, our aim was to evaluate precipitation and evaporation data for the city of Caicó (RN-Brazil), as well as calculating Aridity indexes, in order to reveal the quantity of gained and lost water in the Surface-Atmosphere System in this city, which could aid in water management policies in this region.

Key words 5 no máximo: rainfall, evaporation, aridity index, Brazilian semi-arid region, Caicó/Rio Grande do Norte

1 - Introdução

A água doce é um elemento essencial à vida animal e vegetal e também é fator condicionante ao desenvolvimento econômico de qualquer região, sendo de importância

¹ Doutoranda em Geografia pela Universidade de Brasília UNB, Email de contato: rebeccaosvaldo@yahoo.com.br

² Docente do departamento de Geografia da Universidade de Brasília UNB Email de contato: erciliaunb@gmail.com



vital aos seres vivos que integram os ecossistemas terrestres (REBOUÇAS, 2002). Pode-se dizer que a água doce é o mais importante recurso da humanidade (DREW, 2005).

A distribuição das precipitações em diferentes regiões do globo varia muito de acordo com as condições geográficas, topográficas e climáticas de cada lugar. Alguns ambientes da Terra dispõem naturalmente de água doce em grande quantidade, a exemplo da região Amazônica no Brasil. Já em outros lugares do globo, pode chover em média, menos que 100 milímetros por ano, sendo estas regiões consideradas áridas (BRANCO, 2003). Vale salientar que não é apenas a quantidade de precipitação que determina a disponibilidade de água em uma região, como exemplo podemos citar que nas áreas do domínio do Nordeste seco as precipitações médias anuais variam entre 268 e 800 milímetros, porém como a evaporação é muito alta, pode-se dizer que sobra pouca água disponível para os rios e lençóis subterrâneos (AB SABER, 2003; BRANCO, 2003). Segundo Conti (2005), o PNUMA - Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente estabeleceu um índice de aridez expresso pelo quociente entre a precipitação dividida pela evapotranspiração potencial, o que reforça a hipótese de que o grau de aridez de uma região, não depende exclusivamente da quantidade de precipitação acumulada. Outros índices levam em consideração outras variáveis que geralmente incluem o balanço de radiação.

No semiárido brasileiro a inconstância das precipitações é sempre relatada como o principal fator responsável pela “seca”, que gera inúmeros problemas sociais, econômicos e ambientais nessa região do Brasil. No entanto, outras variáveis meteorológicas são tão importantes ou até mesmo mais determinantes na gênese da seca que a precipitação, a exemplo das temperaturas, da insolação e da evaporação, que agindo mutuamente favorecem o quadro, por vezes desastroso, de seca no Nordeste brasileiro.

Diante deste contexto, nosso objetivo principal foi o de analisar os dados de precipitação e também de evaporação do município de Caicó, localizado no domínio dos sertões secos ou semiárido brasileiro, com o propósito de se revelar as quantidades de água recebidas e perdidas no sistema superfície-atmosfera ao nível local. O nosso objetivo com esta análise, é de que os resultados aqui obtidos sirvam de base ao planejamento e gestão das águas em Caicó, bem como de outros municípios com condições geográficas e climáticas semelhantes. Para tanto, acreditamos ser de grande relevância a aplicação de técnicas estatísticas que auxiliem a prover um diagnóstico climático da área de estudo.



1.1 – Localização e caracterização da área de estudo

O município de Caicó está localizado na região Nordeste do Brasil, no interior do estado do Rio Grande do Norte, estando distante a aproximadamente 200 Km do oceano Atlântico tanto ao norte quanto a leste. Inserido no polígono das secas (SANTANA, 2007), apresenta uma vegetação original típica de Caatinga, que de acordo com Nunes (2006) e a CPRM (2005) é do tipo Subdesértica do Seridó - vegetação mais seca do Estado do Rio Grande do Norte, com predomínio de arbustos e árvores baixas, ralas, cactáceas e de xerofitismo acentuado.

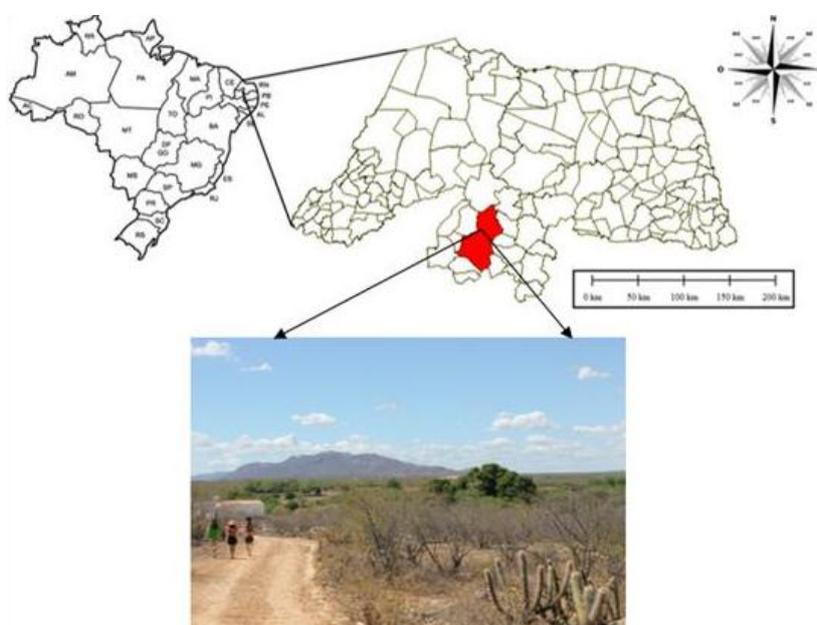


Figura 01: Localização do município de Caicó no Brasil e paisagem rural. Fonte: Lucena *Et al*, 2013.

2 – Metodologia

Para elaborar um diagnóstico climático para o município de Caicó, com ênfase na disponibilidade de água, foram escolhidas as variáveis precipitação e evaporação. Os dados das duas variáveis em questão foram obtidos na estação climatológica do Seridó (Caicó) que possui um horizonte desimpedido aos elementos climáticos, tendo como coordenadas geográficas 06° 28' Sul e 37° 05' W, e altitude de 169,81 metros (ver Figura 2). Os dados de precipitação e evaporação foram gerados a partir de instrumentos conhecidos como pluviômetro e pluviógrafo e evaporímetro de piche que se encontram em perfeito estado de



funcionamento na estação do Seridó convencional (figura 2). Esta estação climatológica pertence ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, e está localizada dentro do campus da Universidade Federal do Rio Grande do Norte UFRN/Caicó, funcionando desde meados de 1995 em convênio com a mesma.



Figura 02: Mosaico de imagens mostrando da esquerda para a direita: a casa sede da estação climatológica do Seridó, o evaporímetro de piche, o pluviômetro e o pluviógrafo. Fonte: Ferreira *Et al*, 2013; arquivo dos autores.

Diversas técnicas estatísticas foram utilizadas para a análise da precipitação e evaporação em Caicó, quais sejam: Média Aritmética (\bar{x}), Ponto Médio (PM), Amplitude Total (Δt), Variância (S^2), Desvio Padrão da População (S), Coeficiente de Variação (CV), Probabilidade (P), Tempo de Retorno (T) e Índice de Aridez (Ia). A série temporal analisada contempla os últimos 18 anos (1996 – 2013) uma vez que só a partir de 1996 se tem dados de evaporação para o município de Caicó.

3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a análise climática de qualquer lugar ou região da Terra, é indispensável que se faça o uso de técnicas estatísticas, já que os resultados obtidos a partir dos instrumentos meteorológicos são, em sua grande maioria, numéricos. No entanto, a análise genética e qualitativa do clima não deve ser deixada de lado em detrimento do uso e abuso de técnicas estatísticas. A própria análise rítmica, técnica de análise tão importante nos estudos do clima, valoriza o caráter qualitativo dos fenômenos, mas não despreza a apreciação quantitativa, como afirma Monteiro (1971 pág. 13): “Na análise rítmica as expressões quantitativas dos elementos climáticos estão indissolavelmente ligadas à gênese ou qualidade dos mesmos...”. Assim, para estudos climáticos dos mais diversos, é importante



que se apliquem técnicas quantitativas adequadas, visando sempre uma melhor interpretação dos dados e fenômenos meteorológicos observados.

Abaixo, segue uma breve descrição das técnicas aplicadas neste estudo e sua importância na interpretação dos fenômenos meteorológicos analisados no estudo climatológico do município de Caicó de 1996 - 2013. Os dados referem-se a valores anuais e neste momento não nos propomos a aplicar o método de análise rítmica, por isso, a análise aqui apresentada tem caráter quantitativo e não qualitativo. Assim, começamos analisando os dados de precipitação e evaporação do município de Caicó, aplicando primeiramente medidas de tendência central e de dispersão, como seguem.

3.1 Medidas de tendência central e de dispersão

A média aritmética que é uma medida de tendência central que expressa o somatório de todos os elementos da série dividido pelo número total de elementos (FRANCISCO, 1995). As médias de precipitação e evaporação anual em Caicó pra o período 1996 – 2013 foram de 638,1 e 3098,3, milímetros respectivamente. Tais valores mostram que, em média, anualmente a quantidade de água evaporada é 5 vezes maior que a quantidade de água precipitada em Caicó. Esta informação, por si só, mostra que existe um déficit de água na superfície que pode gerar problemas com relação à demanda natural e socioeconômica (ver tabela 01).

O Ponto médio é um valor que está a meio caminho entre o ponto maior e o ponto menor da série de dados (TRIOLA, 1998). Em Caicó, este valor foi de 682,9 e 3143,1 milímetros para precipitação e evaporação, respectivamente. Esta fórmula traz um valor semelhante a Média aritmética e mostra que, a evaporação em Caicó mais uma vez chega a ser quase que 5 vezes maior que a precipitação (ver tabela 01).

O Valor máximo e Valor Mínimo expressam simplesmente o maior e menor valor da população (série de dados), mostrando o quão distantes estão estes valores. Para a precipitação e evaporação no município de Caicó os V. Max e V.Min foram: 1191,2 e 174,6 e 3655,3 e 2630,9, respectivamente. A Amplitude total é a diferença entre o V. Max e o V. Min do conjunto de dados. Quanto maior for a amplitude total, maior é a variabilidade dos valores (REBOITA, 2005). Em Caicó a Amplitude Total para precipitação e evaporação foi de 1016,6 e 1024,4 respectivamente. Os valores de amplitude total das duas variáveis foram muito semelhantes, no entanto, convém lembrar que os V Max e V. Min são bem distintos para as duas variáveis, o que nos mostra que mesmo com amplitude semelhante, a variável evaporação sobressai sobre a precipitação.



<u>Caicó/RN</u> <u>(Período 1996 – 2013)</u>	<u>Precipitação</u> <u>(mm)</u>	<u>Evaporação</u> <u>(mm)</u>
Média Aritmética	638,1	3098,3
Ponto Médio	682,9	3143,1
Valor Máximo	1191,2	3655,3
Valor Mínimo	174,6	2630,9
Amplitude Total	1016,6	1024,4
Variância	75417,2	78425,3
Desvio Padrão da População	274,6	280
Coeficiente de Variação	43%	9%

Tabela 01: Valores médios anuais de medidas de tendência central e de dispersão para o município de Caicó (período de 1996 – 2013). Fonte: dados da pesquisa.

A Variância e o Desvio Padrão são medidas de dispersão. A variância é uma medida de dispersão dos dados em torno da média e mostra o espalhamento de conjunto de dados. É determinada pelo somatório do quadrado do desvio em relação à média dividida pelo número de elementos da série (GALVANI, 2005). O Desvio padrão da população é uma medida que expressa a magnitude ou o grau de espalhamento ou dispersão dos dados com relação a média da série. Ele é a raiz quadrada da variância (FRANCISCO, 1995). Para precipitação e evaporação em Caicó, os valores de Variância e Desvio Padrão foram os seguintes: 75417,2 e 78425,3 e 274,6 e 280, respectivamente. Estes valores foram bem próximos, mas como irá nos mostrar o Coeficiente de Variação, a realidade não é tão semelhante assim.

O Desvio Padrão mede o desvio dos dados com relação à média. Já o Coeficiente de Variação serve para comparar a variabilidade entre populações que apresentam médias diferentes entre si. Sua fórmula divide o desvio Padrão pela média e seu resultado é dado em porcentagem. Apesar dos dados de precipitação e evaporação de Caicó com relação à Variância e Desvio Padrão terem sido bem semelhantes (ver tabela 01), o Coeficiente de Variação mostrou que os dados de chuva apresentaram uma maior variabilidade ou heterogeneidade do que os dados de evaporação. Esta variabilidade foi quase 5 vezes maior para precipitação, com CV de 43% e de 9% para evaporação (ver tabela 01). Este resultado é muito importante, pois nos mostra que além da chuva ser inferior à evaporação, em termos de quantidade, ela também é mais variável no tempo.



3.2 Probabilidade e Tempo de Retorno

“Considerando o lançamento de um dado, o conjunto de todos os casos possíveis de ocorrer é o conjunto das possibilidades” (FRANCISCO, 1995, p.45). Para se chegar aos valores de probabilidade, deve-se distribuir os dados em classes e expressar a relação entre o número de vezes que determinado fenômeno ocorreu e o número total de eventos observados (GALVANI, 2005).

Para os dados de precipitação e evaporação aqui analisados (figura 3), o conjunto de dados foi agrupado em cinco intervalos de classes e os resultados mostraram que para precipitação, existe uma maior probabilidade de ocorrência (28%) para chuvas nos valores que vão de 581 a 784 milímetros, ou seja, para os valores mais próximos à média. Por outro lado há uma menor probabilidade (11%) para eventos de chuva em que o total anual esteja entre 987 e 1191 milímetros. Para os dados de evaporação os resultados foram os seguintes: maior probabilidade (28%) da evaporação anual para valores entre 3245 e 3450 milímetros, e menor probabilidade (11%) para valores de 3451 a 2655 milímetros. Para os valores de evaporação, há uma maior probabilidade de ocorrência para valores que se encontram 1 classe acima da que está a média.

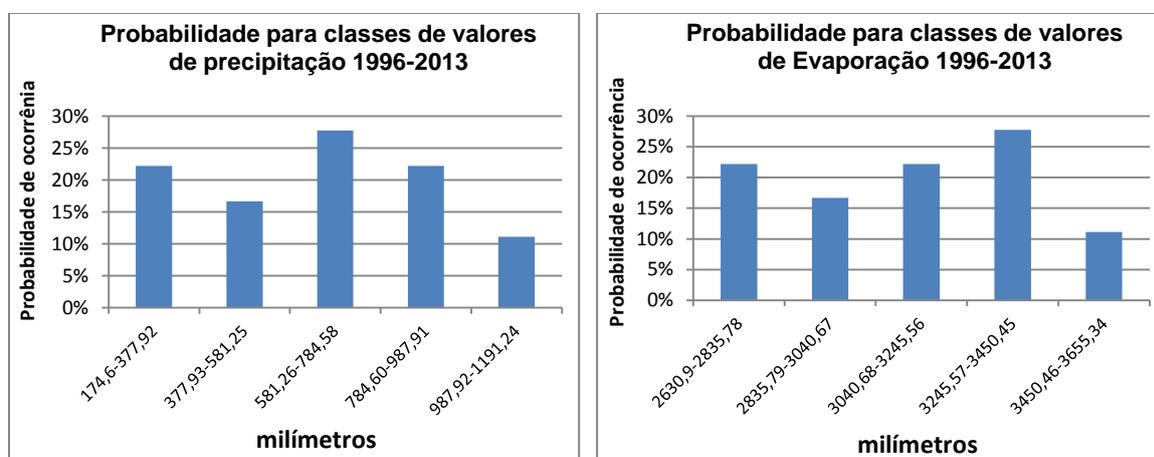


Figura 03: gráficos de probabilidade de ocorrência para eventos de precipitação e evaporação no município de Caicó/RN. Fonte: dados da pesquisa.

O Tempo de Retorno expressa um intervalo de tempo estimado para que determinado evento ocorra. É definido como o inverso da probabilidade (GALVANI, 2005). Abaixo, está a tabela 2 que estabelece o tempo de retorno para taxas de precipitação e evaporação para o município de Caicó/RN.



Precipitação		Evaporação	
Inter. de classe	T. de Retorn	Inter. de classe	T. de Retorn
174,6-377,92	4,545455	2630,9-2835,78	4,545455
377,93-581,25	6,25	2835,79-3040,67	6,25
581,26-784,58	3,703704	3040,68-3245,56	4,545455
784,60-987,91	4,545455	3245,57-3450,45	3,703704
987,92-1191,24	9,090909	3450,46-3655,34	9,090909

Tabela 02: Tempo de retorno em anos para os índices de precipitação e evaporação dispostos em classes. Fonte: dados da pesquisa

O tempo de retorno ou de recorrência de um evento anual de chuva foi menor para os valores de precipitação próximos da média, entre 581,26-784,58 (~3,7 anos) e maior para precipitações superiores aos 900 milímetros (9 anos). Ou seja, o tempo de retorno para que ocorra uma chuva superior a 900 milímetros em Caicó é de 9 anos.

3.3. Índice de Aridez

Para distinguir as diferentes regiões do globo de acordo com os tipos climáticos, foram e vêm sendo elaborados vários modelos de classificação climática. A depender do propósito, estes modelos se utilizam de diferentes variáveis meteorológicas. Algumas classificações levam em consideração as massas de ar e ventos, outras o balanço de radiação, outras ainda o grau de umidade... (TORRES; MACHADO, 2011). O Índice de Aridez nada mais é que uma classificação climática que enfoca a disponibilidade hídrica de uma região, como descrito adiante.

“Em 1992, a ONU, por meio do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), estabeleceu um índice de aridez, aceito internacionalmente, que se expressa pelo quociente da divisão entre precipitação média anual dividida pela evapotranspiração potencial (*P/PET ratio*), com a seguinte gradação: valores superiores a 0,65 significariam ausência de aridez; entre 0,65 e 0,51, corresponderiam ao subúmido; 0,50-0,21 ao semi-árido; 0,20-0,05 ao árido e inferiores a 0,05 ao hiperárido.” (CONTI 2005, pags 43-44)

Para Caicó aplicou-se o Índice de Aridez por ano e a média para todos os anos. A série considerada foi de 10 anos por faltarem dados anteriores ao ano de 2003 (tabela 03).



<u>Caicó período</u> <u>2003 – 2013*</u>	<u>Precipitação</u>	<u>Evapotrans.</u> <u>Potencial</u>	<u>Índice de</u> <u>Aridez</u>	<u>Classificação</u> <u>Climática</u>	<u>Susceptibil.</u> <u>Desertificação</u>
2003	589,8	1760	0,335114	Semiárido	Alta
2004	797,7	1745	0,457135	Semiárido	Alta
2006	760,8	1787	0,425844	Semiárido	Alta
2007	548,4	1776	0,308784	Semiárido	Alta
2008	875,2	1763	0,496427	Semiárido	Alta
2009	1191,2	1747	0,681855	Sem Aridez	Sem Suscep.
2010	700,6	1746	0,40126	Semiárido	Alta
2011	969,6	1716	0,565035	Subúmido	Moderada
2012	200,2	1773	0,112916	Árido	Muito alta
2013	597,6	1766	0,338392	Semiárido	Alta
2003 – 2013*	723,11	1757,85	0,411359	Semiárido	Alta

*exceto 2005 por falta de dados

Tabela 03: Índice de Aridez e Susceptibilidade à Desertificação para o município de Caicó/RN para os dez últimos anos (período 2003 - 2013). Fonte: dados da pesquisa.

Na tabela 3, os resultados mostraram que a média do la foi de 0,41, colocando Caicó na condição de clima semiárido, apesar de terem sido registrados 1 ano sem aridez e 1 ano árido, com taxas de 0,68 e 0,11 respectivamente. Tais resultados só confirmam a vulnerabilidade a que está submetido o município de Caicó, com relação à falta de água, numa perspectiva de crescimento urbano para os próximos anos. Medidas eficazes para armazenar a água e proteger a vegetação Caatinga devem ser tratadas com prioridade pelo governo e sociedade.

4 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tanto os dados brutos coletados quanto o tratamento estatístico realizado neste trabalho para analisar o clima de Caicó, tomando por base as variáveis precipitação e evaporação, só confirmam que a evaporação supera em muito a precipitação, numa média anual de 5 vezes. A média aritmética para os últimos 18 anos (1996 - 2013) foi de 638,1 (precipitação) e de 3098,3 (evaporação). Mesmo no ano mais chuvoso da série analisada (2009), a evaporação foi pelo menos 3 vezes maior que a precipitação.

Apesar dos dados de Variância e Desvio Padrão de precipitação e evaporação de Caicó terem sido bem próximos, o Coeficiente de Variação mostrou que a chuva apresentou



uma maior variabilidade ou heterogeneidade anual com Coeficiente de Variação de 43%, quando o de evaporação foi de 9%. Este resultado é muito importante, pois nos mostra que além da chuva ter sido inferior à evaporação em termos de quantidade, ela também é mais variável no tempo.

Quanto à probabilidade, o intervalo de classe de chuva que contém a média é o que apresenta maior possibilidade de ocorrência enquanto os melhores índices de chuva, que seriam superiores aos 900 mm, apresentaram a menor probabilidade de ocorrência. Já a probabilidade quanto à evaporação, foi maior para 1 intervalo de classe acima da média, ou seja, existe uma maior probabilidade de ocorrência de evaporação superior a média para o período estudado. Já o tempo de retorno ou de recorrência de um evento anual de chuva foi menor para os valores de precipitação próximos da média, entre 581,26-784,58 (~3,7 anos) e maior para precipitações superiores aos 900 milímetros (9 anos). Ou seja, o tempo de retorno para que ocorra uma chuva superior a 900 milímetros em Caicó é de 9 anos.

Os resultados da aplicação do Índice de Aridez mostraram que o município de Caicó se enquadra na condição de clima semiárido. Tais resultados só confirmam a vulnerabilidade a que está submetido o município de Caicó com relação à falta de água, numa perspectiva de crescimento urbano para os próximos anos. Medidas eficazes para armazenar a água e proteger a vegetação Caatinga devem ser tratadas com prioridade pelo governo e sociedade. Métodos que armazenem a água que evitem sua perda por evaporação como construção de barragens subterrâneas, cisternas, construção de reservatórios profundos (em relevo adequado) e a dragagem dos reservatórios já existentes, podem diminuir a perda de água por evaporação.

Os resultados obtidos nesta pesquisa devem servir de base ao planejamento e gestão das águas em Caicó, bem como outros municípios com condições geográficas e climáticas semelhantes do semiárido brasileiro.

5 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SABER, A. N. Caatingas: O domínio dos sertões secos. *In: Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. 1ª ed. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

BRANCO, S. M. **Água: origem, uso e preservação**. 2ª ed. São Paulo: Editora Moderna, 2003.

CONTI, J. B. O conceito de desertificação. **CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem**. Rio Claro, Vol.3. n.2. pág 39 – 52, Jul/Dez/2008.



CPRM - Serviço Geológico do Brasil. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Caicó, estado do Rio Grande do Norte.** Organizado [por] João de Castro Mascarenhas, Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

DREW, D. Água. *In*: DREW, D. **Processos interativos homem - meio ambiente.** 6ª ed. – Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2005.

FERREIRA, A. M.; MARINHO, G. S.; LUCENA, R. L. SILVEIRA E. J. D.; LIMA, K. C. Combinação de fumo, álcool e exposição aos raios solares e ocorrência de lesões orais potencialmente malignas e malignas. **Sociedade e Território**, Vol. 25, p. 42-54, 2013.

FRANCISCO, W. de. **Estatística básica: síntese da teoria, exercícios propostos e resolvidos.** 2ª Ed. Piracicaba: Editora Unimep, 1995.

GALVANI, E. Métodos e técnicas de quantificação em Geografia. *In*: VENTURI, L. A. B (Org). **Praticando Geografia: Técnicas de Campo e Laboratório.** 1a. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2005. v. 1. 239 p.

LUCENA, R. L; FERREIRA, A. M. FERREIRA, H. F. P. de A. STEINKE, E. T. Variabilidade climática no município de Caicó/RN: secas e chuvas num arquétipo do clima semiárido do Nordeste brasileiro. **CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem.** Rio Claro, Vol.8. p 25 -47, Jul/Dez, 2013.

MONTEIRO, C. A. F. **Análise rítmica em climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho.** (Texto didático) Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo. São Paulo: USP, 1971.

NUNES, E. **Geografia Física do Rio Grande do Norte.** Natal: Imagem Gráfica, 2006.

REBOITA, M. S. **Introdução à Estatística Aplicada à Climatologia: Parte I Estatística Descritiva.** Projeto PAE. São Paulo, 2005.

REBOUÇAS, A. de C. (Org). **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação.** São Paulo: Escrituras Editora, 2002.

SANTANA, M. O (Org). **Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil.** Brasília: Ed: MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2007.

TORRES, F. T. P.; MACHADO, P. J. de O. **Introdução à Climatologia.** São Paulo: Cengage Learning, 2011.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística.** 7ª Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1998.